Title	流言伝播における口コミとマスコミの影響 (第5回生物数学の理論とその応用)
Author(s)	河内, 一樹
Citation	数理解析研究所講究録 (2009), 1663: 6-10
Issue Date	2009-09
URL	http://hdl.handle.net/2433/141025
Right	
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	publisher

数理解析研究所講究録
第1663巻 2009年 6-10

流言伝播における口コミとマスコミの影響

東京大学・数理科学研究科　河内 一樹 (Kazuki Kawachi) [1]
Graduate School of Mathematical Sciences,
The University of Tokyo

概要

RIMS 研究集会，第5回「生物数学の理論とその応用」において2009年1月13日に講演した内容を紹介する．

流言伝播を抑制する人の位置づけ，流言の変容，マスコミの影響力といった3つの要素の有無が，流言伝播に際してどのような影響を与えるかを，常微分方程式モデルの解析によって調べる．特に，ある特定の要素が揃った場合には，流言伝播の基礎モデルでは見られない双安定の状態が存在することを報告する．

1 導入

社会情勢が変化すると，その情報を把握すべく我々は言語による意思疎通を図る．しかしその活動によって我々の心理や行動が変容し，そのミクロな変化が社会情勢を変容することも多い．従って，ある言説が人々の間に広がるダイナミクスを調べることは社会を安定化するために有用な視点を提供すると考えられる．

本発表では，口頭でのコミュニケーション（口コミ）が連鎖することで短期間の間に不特定多数の人々に大規模に広まる言説を「流言」と定義する．そして，流言を知って積極的に広めようとする人の多寡によって，その流言が広まっているかどうかを判断し，その人数の時間変化を数学的に解析する．

流言が伝播する基本的な仕組みは，「流言を知らない人」が「流言を知って広める人」に出会い会話する中で，「広める人」がその流言を話題にすることで「知らない人」が流言を知る，というものである．一方，感染症が広まる基本的な仕組みは，未感染者が感染者に接近することで感染者から未感染者に病原体が移り，未感染者が発症するというものである．この類比から，感染症のモデリングと同様のモデリングを流言伝播に対して行うことには一定の意義を認めることができる．

感染症の数理モデルとして最も基本的な，SIR モデルを簡単に復習する．人口を感受性人口 (susceptibles), 感染人口 (infected; infectious), 隔離された人口 (recovered; removed) の3状態に分類し，各状態ごとに人々の行動が均一化されていると仮定する．未感染者と感染者の接触によって未感染者が感染し，また感染者は一定の割合で隔離状態に移行する，という状態遷移を考慮して，各状態の時刻 t での人口（あるいは人口密度）をそれぞれ $S(t)$, $I(t)$, $R(t)$ で表すと，SIR モデルは

$$\begin{cases} \frac{d}{dt}S(t) = -\beta S(t)I(t) \\ \frac{d}{dt}I(t) = \beta S(t)I(t) - \gamma I(t) \\ \frac{d}{dt}R(t) = \gamma I(t) \end{cases}$$

なる常微分方程式系で表される．ここで β は感染率，γ は隔離率で，$\beta I(t)$ は感染力である．実際には，感染症に関する状態をさらに細かく分類するが，R-状態の個体が他の状態の個体と接触しても病原体を広めることはなく，状態遷移を引き起こさないことに注意する．

流言伝播の基本モデルとして，次のようなものを考える ([1])．ある流言に関する状態に着目して，人口を感受性人口 (susceptibles, 流言を知らない人たち)，広め役人口 (spreaders, 流言を知って広める人たち) 及び火消し役人口 (stiflers, 流言は知っているが伝播を阻止する人たち) の3状態に分類する．個体間の接触により引き起こされる状態遷移として次の3通りを考える．

[1] E-mail:kkawachi@06.alumni.u-tokyo.ac.jp

(i) 感受性個体と広め役個体が接することで，感受性は流言を知り，一定の割合で広め役に，また一定の割合で火消し役に遷移する．

(ii) 広め役個体同士が頻繁に接し流言を話題にすることで，飽きが生じて，一部の広め役個体が火消し役に遷移する．

(iii) 広め役個体と火消し役個体が接すると，広め役個体が話題提示した流言に対して火消し役個体が「関心を示さない」「否定的な見解を見せる」ことで，一部の広め役個体が火消し役に遷移する．

(iii) は，SIR モデルで言えば，R-状態の個体は免疫保持者であって，I-状態の個体に出会うと自らが保持する免疫を I-状態の個体に渡すと表現できるだろう．これは感染症において非現実的であり，ここに流言と感染症との 1 つの差異が存在する．以降，時刻 t における感受性人口，広め役人口，火消し役人口をそれぞれ $X(t)$, $Y(t)$, $Z(t)$ と表す．

2 基礎モデルの拡張

基礎モデルに対して,「流言伝播を抑制する人の位置づけ」「流言の変容」「マスコミの影響力」の 3 要素を新たに考慮する．これらについて以下簡単に説明する．

まず，基礎モデルにおいて，自ら流言について話題にしないことを暗黙のうちに仮定している点で，火消し役は消極的であり，いわば「懐疑論者」(skeptics) である．それに対して，例えば対抗流言を流すなどの方法で，流言伝播を積極的に抑えようとすることも考えられる．このような火消し役を，基礎モデルの「懐疑論者」としての火消し役と区別して「積極的火消し役」(active stiflers) と定義する．接触による状態遷移を化学反応式のように記述すると，火消し役が懐疑論者の場合は

$$X+Y \to Z+Y, \quad Y+Y \to Z+Y$$

なる遷移が考えられるが，火消し役が積極的である場合はこれらの遷移は考えず，代わりに

$$X+Z \to Z+Z, \quad Z+Y \to Y+Y$$

のような，接触による相互作用が考えられる．後者の $Z+Y$ の接触に関しては，積極的火消し役と広め役の影響力の強さの差によって，片方がもう片方の状態に遷移する，ということを意味する．

次に,「噂に尾鰭がつく」の言い回しにもあるように，流言の殆どは短期間に次々と変容する．ここでは内容が変わらない流言を constant rumor, 変容する流言を variable rumor とする．流言が変容する場合には以下のような自発的な状態遷移を考えることができる．集団内の火消し役が懐疑論者である場合は，火消し役に関しては積極的に流言に関する情報を得ないために，自分が知りえた流言からある程度変化した流言は実質的には知らないのと同然とみなし，火消し役個体は一定の割合で感受性に遷移すると仮定する．その遷移に比べると，広め役は会話を通じて常に最新の流言を得ており状態遷移の率は非常に小さいと考えられ，ここでは便宜上状態遷移は起こらないと仮定する．対照的に，集団内の火消し役が積極的火消し役である場合は，広め役と積極的火消し役とで流言に関する情報は同じように更新されると考えられるので，どちらも一定の割合で感受性に遷移すると仮定する．

3 つ目に，マスコミが流言伝播に与える影響をモデルに組み込むことを考える．マスコミを代表とする外部情報源が流言伝播に与える影響は無視できない．日本を例にとると，1970 年代に地方でひそかに広まっていた「都市伝説」が 1980 年代にマスコミに大きく取り上げられ，映画やアニメなどの素材として用いられた．そして，現在でも一部のお笑い芸人がテレビや出版物を通して都市伝説を全国に広めている．また，環境問題への意識が高まりつつある中で「地球温暖化懐疑論」が現在日本国内で一部盛り上がりを見せて

いるが，一部の研究者がマスコミを通じて日本国民全体にそのような言説を伝えている影響が大きいと考えられる．

基礎モデルではマスコミの影響を考慮していなかった．マスコミの影響は，個体の自発的な状態遷移としてモデルに組み込むことができる．マスコミの影響を考慮するに際して，マスコミが流言拡散を推進する場合と，逆に流言拡散を抑制する場合とが考えられる．前者の場合，一定の割合で $X \to Y$, $Z \to Y$ と遷移し，後者の場合，一定の割合で $X \to Z$, $Y \to Z$ と遷移すると仮定する．

なお，以上の要素を組み込む上で，基礎モデルでも暗黙のうちに仮定している事実をいくつか述べる．まず，集団の各流言クラス内の個体たちの行動は定常的・平均的であり，飛び抜けて影響力の強い（あるいは受けやすい）個体は存在しないと仮定する．これは常微分方程式モデルを構築する上で欠かせないものである．次に，マスコミが存在する場合，その影響力は個体の影響力と同様，同様に定常的・平均的であると仮定する．本来時間変動があってしかるべきであるが，ここでは単純化して考える．そして，(人の一生に比べると）短い期間での挙動を調べることから，個体の生死は考えず，また移民（移出・移入ともに）も考慮しないことにする．この仮定から，全人口 $N(t) = X(t) + Y(t) + Z(t)$ は t によらない定数である．

3 モデルと結果

モデルを記述する常微分方程式を紹介する．なお，紙面の都合上，方程式の提示は代表例にとどめる．

まず，基礎モデルは次のような常微分方程式系で記述される：

$$\begin{cases} \dot{X}(t) = -\alpha X(t)\dfrac{Y(t)}{N(t)}, \\ \dot{Y}(t) = \alpha\theta X(t)\dfrac{Y(t)}{N(t)} - \beta Y(t)\dfrac{Y(t)}{N(t)} - \gamma Y(t)\dfrac{Z(t)}{N(t)}, \\ \dot{Z}(t) = \alpha(1-\theta)X(t)\dfrac{Y(t)}{N(t)} + \beta Y(t)\dfrac{Y(t)}{N(t)} + \gamma Y(t)\dfrac{Z(t)}{N(t)}. \end{cases}$$

ただし α, β, γ は個体間相互作用の大きさを表すパラメータであり，正である．また θ は感受性個体と広め役個体の接触によってその感受性個体が状態遷移を起こす際，広め役個体になる確率を表し，$0 < \theta \le 1$ とする．

流言が変容し，マスコミが流言伝播を抑制するモデルを記述する常微分方程式系は以下のようである：

$$\begin{cases} \dot{X}(t) = -\alpha X(t)\dfrac{Y(t)}{N(t)} + \eta Z(t) - pX(t), \\ \dot{Y}(t) = \alpha\theta X(t)\dfrac{Y(t)}{N(t)} - \beta Y(t)\dfrac{Y(t)}{N(t)} - \gamma Y(t)\dfrac{Z(t)}{N(t)} - qY(t), \\ \dot{Z}(t) = \alpha(1-\theta)X(t)\dfrac{Y(t)}{N(t)} + \beta Y(t)\dfrac{Y(t)}{N(t)} + \gamma Y(t)\dfrac{Z(t)}{N(t)} - \eta Z(t) + pX(t) + qY(t). \end{cases}$$

η は流言変容によって（懐疑論者である）火消し役個体が感受性に遷移する度合いを表し，p, q はマスコミによって感受性個体や広め役個体が火消し役に遷移する度合いを表す．これらのパラメータは正である．

また，火消し役が積極的火消し役であるような集団で，流言が変容し，マスコミが流言伝播を促進するモデルを記述する常微分方程式系は以下のようである：

$$\begin{cases} \dot{X}(t) = -\alpha X(t)\dfrac{Y(t)}{N(t)} - \delta X(t)\dfrac{Z(t)}{N(t)} + \eta_1 Y(t) + \eta_2 Z(t) - pX(t), \\ \dot{Y}(t) = \alpha X(t)\dfrac{Y(t)}{N(t)} - \gamma Y(t)\dfrac{Z(t)}{N(t)} - \eta_1 Y(t) + pX(t) + qZ(t), \\ \dot{Z}(t) = \gamma Y(t)\dfrac{Z(t)}{N(t)} + \delta X(t)\dfrac{Z(t)}{N(t)} - \eta_2 Z(t) - qZ(t). \end{cases}$$

η_1, η_2 は流言変容によって広め役個体や積極的火消し役個体が感受性に遷移する度合いを表し，p, q はマスコミによって感受性個体や積極的火消し役個体が広め役に遷移する度合いを表す．これらのパラメータは正である．

以上のような常微分方程式系たちに対して大域的挙動，つまり $t \to \infty$ で解がどのように振る舞うかを調べる．平衡点に収束することが簡単に分かり，モデルに組み込む3要素の有無による平衡点の種類やその安定性の違いについてまとめたのが表1，表2，表3である．

表において，E_x, E_y, E_z はそれぞれ感受性，広め役，火消し役が独占している状態を表す．E_{xy} は感受性と広め役の2状態の共存，E_{xz} は感受性と火消し役の2状態の共存，E_{yz} は広め役と火消し役の2状態の共存を表す．$E_{\rm int}$ は3状態の共存を表す．GAS は大域的漸近安定 (Globally Asymptotically Stable) の略である．

$$R := \alpha\theta\frac{\eta}{p+\eta} - \gamma\cdot\frac{p}{p+\eta} - q$$

とおいた．

表から単純に分かることをいくつか述べる．まず，火消し役に注目して他の2要素を揃えると，火消し役が積極的である方が，懐疑論者であるよりも平衡点が多いことがわかる．これは，広め役と火消し役の相互作用において，火消し役が懐疑論者の場合は広め役から火消し役への一方的な遷移のみが起こるのに対して，火消し役が積極的である場合はその逆の火消し役から広め役への遷移も起こりうることが原因であると考えられる．次に，流言の変容に注目して他の2要素を揃えると，流言が変容するモデルでは3状態の共存が起こりやすいとが分かる．もし流言が変容しないならば，その集団に流言が入り込むと感受性人口は単調減少し，基礎モデルでない限り感受性人口は絶滅する．しかし，流言が変容する場合，広め役や火消し役が存在すれば必ず一定割合で感受性人口への遷移が存在するため，最終状態においても感受性人口が絶滅しないことも起こりえる，と解釈することができる．そして，マスコミの存在に着目して他の2要素を揃えると，マスコミが存在するモデルでは境界平衡点（1状態のみの独占状態と，2状態の共存状態）よりも内部平衡点（3状態の共存状態）が存在しやすいことが分かる．マスコミが流言伝播を促進する場合は平衡点に広め役が必ず存在し，対照的にマスコミに流言伝播を抑制する場合は平衡点に火消し役が必ず存在する．以上は定性的に理解しやすい特徴であろう．

流言が変容し，火消し役が積極的であるモデルでは，パラメータの値によって2つの平衡点が局所漸近安定となり，双安定の状態となる．Lotka-Volterra の2種競争系モデルにおいて競争がより激しい場合と同様に，広め役と積極的火消し役の間のある種の競争が激しい場合に，このような双安定の状態が達成されると考えられる．

詳しい相図や分岐図，解析の詳細は [2] を参照されたい．

4　まとめに代えて

これまでに提唱してきた流言伝播モデルは，感染症モデルに比べると実証性に欠けるという弱点がある．例えば，モデルの妥当性を検証するためには各時間ごとに3状態の人口を測定し，そこから相互作用や状態遷移などのパラメータを推定する必要があるが，これらの実証データは非常に得づらい．インターネット上の書き込みを口コミと同様に扱って測定する可能性もあるが，現段階では感染症の患者人数の測定に比べて信頼性に欠けると言わざるを得ない．

しかし，情報が人間社会で担う役割は現在ますます高まりつつある．生物種や感染症の伝播において数理生物学や数理疫学が蓄積してきた研究成果を情報伝播の解明に活用するための一つの道筋として，非常に原始的ながらも，これまでの流言伝播の数理モデルを位置づけることができると考えられる．

stiflers	rumor	state after long periods of time
skeptics	constant	E_{xz} (infinite)
skeptics	variable	E_x (saddle), E_{int} (GAS)
active	constant	E_x (source) $\gamma > 0 \Rightarrow E_y$ (saddle), E_z (GAS) $\gamma < 0 \Rightarrow E_z$ (saddle), E_y (GAS)
active	variable	E_x, E_{xy}, E_{xz}, E_{int}

表 1: マスコミがない場合

stiflers	rumor	state after long periods of time
skeptics	constant	E_{yz} (GAS)
skeptics	variable	$\theta \simeq 1 \Rightarrow E_{\mathrm{int}}$ (GAS)
active	constant	$\gamma < q \Rightarrow E_y$ (GAS) $\gamma > q \Rightarrow E_y$ (saddle), E_{yz} (GAS)
active	variable	E_{xy}, $E_{\mathrm{int}}^{(1)}$, $E_{\mathrm{int}}^{(2)}$

表 2: マスコミが流言伝播に促進的である場合

stiflers	rumor	state after long periods of time
skeptics	constant	E_z (GAS)
skeptics	variable	$R \leq 0 \Rightarrow E_{xz}$ (GAS) $R > 0 \Rightarrow E_{xz}$ (saddle), E_{int} (GAS)
active	constant	$-\gamma < q \Rightarrow E_z$ (GAS) $-\gamma > q \Rightarrow E_z$ (saddle), E_{yz} (GAS)
active	variable	E_{xz}, $E_{\mathrm{int}}^{(1)}$, $E_{\mathrm{int}}^{(2)}$

表 3: マスコミが流言伝播に抑制的である場合

参考文献

[1] K. Kawachi, Deterministic Models for Rumor Transmission, Nonlinear Analysis: Real World Applications 9 (2008) 1989–2028.

[2] K. Kawachi, Rumor Transmission Models and Persistence Analysis, Doctor's Thesis, The University of Tokyo, 2009.